

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平9-246175

(43) 公開日 平成9年(1997)9月19日

| (51) Int. Cl. ⁶ | 識別記号 | 片内整理番号 | P I | 技術表示箇所 |
|----------------------------|------|--------|---------------|---------|
| H 0 1 L 21/027 | | | H 0 1 L 21/30 | 5 2 5 B |
| G 0 3 F 9/00 | | | G 0 3 F 9/00 | H |
| | | | H 0 1 L 21/30 | 5 2 2 D |
| | | | | 5 2 5 M |
| | | | | 5 2 5 R |

審査請求 未請求 請求項の数10 F D (全 21 頁) 最終頁に続く

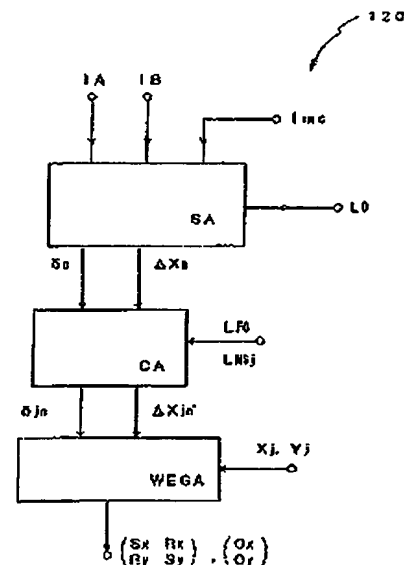
| | | | |
|-----------|----------------|----------|-------------------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願平8-79565 | (71) 出願人 | 000004112 株式会社ニコン |
| (22) 出願日 | 平成8年(1996)3月7日 | (72) 発明者 | 白石 直正 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内 |
| | | (74) 代理人 | 弁理士 立石 篤司 (外1名) |

(54) 【発明の名称】 位置検出方法及びその装置並びに露光方法及びその装置

(57) 【要約】

【課題】 基板上の全ての微細パターンをより高精度に検出する。

【解決手段】 ① N次検出法による干渉式アライメント法により、得られる光量信号 I A、I Bより基板上の複数箇所の格子マークの位置 ΔX_{in} を、回路 S A及び回路 C Aにより(各波長毎に)検出する。また、回路 S Aでは、光量信号 I A、I Bの相対偏差に伴う変化及び格子マークの設計データに基づいて、各格子マークの段差相当量 δn を、段差のマーク表面近傍の入射光ビームの各半波長に対する剰余として、各波長毎に算出する。そして、回路 W E G Aで各格子マークの段差相当量に応じて検出誤差が大きなマークの検出位置には小さな重みを、誤差が小さなマークの検出位置には大きな重みを付けて最小2乗法による統計処理により基板上の全ての微細パターンの位置(配列座標)を算出する。



(2)

特開平9-246175

1

2

【特許請求の範囲】

【請求項1】 微細パターン、及び特定の方向に周期性（周期＝P）を持って凹部と凸部を繰り返す位置検出用の格子マークが、複数ヶ所（M個以上）にそれぞれ形成された基板に対し、前記複数ヶ所の格子マークの前記周期方向の位置を検出し、かつそれらの検出位置を統計処理して、前記基板全面の前記微細パターンの位置を検出する位置検出方法であって、

前記複数ヶ所の格子マーク上に、可干渉な光ビームの対をそれぞれ入射し、振幅分布の周期が $2P/N$ （Nは自然数）でその周期方向が前記各格子マークの周期方向に等しい干渉縞をそれぞれ形成するとともに、前記各干渉縞と前記格子マークとを前記周期方向に相対走査する第1工程と；前記複数ヶ所の格子マークによる前記入射光ビームの反射・回折光のうち、第1の光ビームの正反射光と第2の光ビームのN次回折光との合成光束である第1の合成光束と、前記第2の光ビームの正反射光と前記第1の光ビームのN次回折光との合成光束である第2の合成光束とを、順次かつそれぞれ別々に受光して光電変換する第2工程と；前記第2工程で順次得られる前記第1、第2の合成光束の各光電信号の前記相対走査に伴う変化より、前記複数ヶ所の格子マークの位置を順次検出する第3工程と；前記複数ヶ所の各格子マークの段差相当量を、前記第2工程で順次得られる第1、第2の合成光束の各光電信号の前記相対走査に伴う変化と前記各格子マークの設計データとに基づいて、前記各格子マークの段差を前記入射光ビームの当該各格子マーク表面近傍の媒質中での波長の半分で除した剰余として、順次算出する第4工程と；前記複数ヶ所の中のj番目（jは1からM）の格子マークの前記段差相当量が、前記入射光ビームの当該j番目の格子マーク表面近傍での波長の $1/4$ に近い場合には、該j番目の格子マークの検出位置に大きな重みを付け、前記波長の $1/4$ から離れている場合には、該j番目の格子マークの検出位置に小さな重みを付けて前記複数ヶ所の格子マークの検出位置を統計処理して前記基板全面の前記微細パターンの位置を算出する第5工程とを含む位置検出方法。

【請求項2】 前記第1工程において、前記複数ヶ所の格子マーク上に、可干渉な光ビームの対を波長の異なる複数組それぞれ入射し、振幅分布の周期が $2P/N$ （Nは自然数）でその周期方向が前記各格子マークの周期方向に等しい干渉縞をそれぞれ形成するとともに、前記各干渉縞と前記各格子マークとを前記周期方向にそれぞれ相対走査し、前記第2ないし第4工程の処理を、各波長毎に行って前記各格子マークの位置及び段差相当量を各波長毎に検出し、前記第5工程において、それぞれの波長での前記格子マークの位置検出結果及び段差相当量の検出結果を用いて、各波長毎に前記複数ヶ所の格子マークの検出位置を

前記重み付け統計処理を行い、前記基板全面の前記微細パターンの位置を算出することを特徴とする請求項1に記載の位置検出方法。

【請求項3】 感光基板上の微細パターンが形成された所定のショット領域を露光位置に順次位置決めしつつ、マスクに形成されたパターンを前記各ショット領域に転写して重ね焼き露光を行なう露光方法であって、

露光開始に先だって、請求項1又は2に記載の位置検出方法により前記感光基板上的各ショット領域の配列座標を算出後、

この算出された配列座標に従ってショット領域を露光位置に順次位置決めしつつ重ね焼き露光を行なうことを特徴とする露光方法。

【請求項4】 微細パターン、及び特定の方向に周期性（周期＝P）を持って凹部と凸部を繰り返す位置検出用の格子マークが、複数ヶ所（M個以上）にそれぞれ形成された基板に対し、前記複数ヶ所の格子マークの前記周期方向の位置を検出し、かつそれらの検出位置を統計処理して、前記基板全面の前記微細パターンの位置を検出する位置検出装置であって、

前記複数ヶ所の格子マーク上に、振幅分布の周期が $2P/N$ （Nは自然数）でその周期方向が前記各格子マークの周期方向に等しい干渉縞をそれぞれ形成すべく、可干渉な光ビームの対をそれぞれ入射する送光光学系と；前記複数ヶ所の格子マークによる前記入射光ビームの反射・回折光のうち、第1の光ビームの正反射光と第2の光ビームのN次回折光との合成光束である第1の合成光束と、前記第2の光ビームの正反射光と前記第1の光ビームのN次回折光との合成光束である第2の合成光束とを、それぞれ別々に光電変換する受光手段と；前記各格子マークと前記干渉縞とを前記周期方向に相対走査する相対走査手段と；前記受光手段より得られる前記第1、第2の合成光束の光電信号の前記相対走査に伴う変化より、前記複数ヶ所の格子マークの位置をそれぞれ検出する位置検出手段と；前記複数ヶ所の各格子マークの段差相当量を、前記受光手段より得られる前記第1、第2の合成光束の光電信号の前記相対走査に伴う変化と前記各格子マークの設計データとに基づいて、前記各格子マークの段差を前記入射光ビームの当該各格子マーク表面近傍の媒質中での波長の半分で除した剰余として、それぞれ検出する段差検出手段と；前記複数ヶ所の中のj番目（jは1からM）の格子マークの前記段差相当量が、前記入射光ビームの当該j番目の格子マーク表面近傍での波長の $1/4$ に近い場合には、該j番目の格子マークの検出位置に大きな重みを付け、前記波長の $1/4$ から離れている場合には、該j番目の格子マークの検出位置に小さな重みを付けて前記複数ヶ所の格子マークの検出位置を統計処理して前記基板全面の前記微細パターンの位置を算出する演算手段とを有する位置検出装置。

【請求項5】 前記位置検出手段は、前記相対走査に伴

(3)

特開平9-246175

3

4

う前記第1の合成光束と第2の合成光束の各光量信号変化の各位相に基づいてそれぞれ求めた検出位置の平均値を前記各格子マークの位置として検出することを特徴とする請求項4に記載の位置検出装置。

【請求項6】 前記段差検出手段は、前記各格子マークの前記凹部と凸部の各幅の比率と、前記相対走査に伴う前記第1の合成光束と前記第2の合成光束の各光量信号変化の位相差及びコントラストとに基づいて前記各格子マークの段差相当量を算出することを特徴とする請求項4又は5に記載の位置検出装置。

【請求項7】 前記各格子マークより反射・回折する0次回折光とN次回折光との光量比を計測する光量比計測手段を更に有し、

前記段差検出手段は、前記各格子マークの前記凹部凸部の各幅の比率と、前記相対走査に伴う前記第1の合成光束と前記第2の合成光束との各光量信号変化の位相差と、前記光量比計測手段により得られた前記光量比とに基づいて前記各格子マークの段差相当量を算出することを特徴とする請求項4又は5に記載の位置検出装置。

【請求項8】 前記送光光学系に代えて、前記複数ヶ所の格子マーク上に、順次振幅分布の周期が $2P/N$ （ N は自然数）でその周期方向が前記各格子マークの周期方向に等しい干渉縞を形成すべく、可干渉な光ビームの対を波長の異なる複数組入射する送光光学系が設けられ、前記受光手段、前記位置検出手段及び前記段差検出手段は、前記複数組の異なる波長毎に前記それぞれの処理を行ない、

前記演算手段は、それぞれの波長での前記各格子マークの位置検出結果及び段差検出結果を用いて前記統計処理を行なうことを特徴とする請求項4ないし7のいずれか一項に記載の位置検出装置。

【請求項9】 前記送光光学系は、前記複数ヶ所の格子マーク上に波長の異なる複数組の可干渉な光ビームの対を波長毎に時分割的に入射することを特徴とする請求項8に記載の位置検出装置。

【請求項10】 感光基板上の微細パターンが形成された所定のショット領域を露光位置に順次位置決めしつつ、マスクに形成されたパターンを前記各ショット領域に転写して重ね焼き露光を行なう露光装置であって、前記請求項4ないし9のいずれか一項に記載の位置検出装置を前記感光基板上の各ショット領域の配列座標系の検出用として備え、この検出された配列座標系に従って重ね焼き露光を行なうことを特徴とする露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、位置検出装置及びその装置並びに露光方法及びその装置に係り、更に詳細には複数個の位置計測用のマークの位置を検出し、この複数の検出位置を統計処理して基板上の微細パターン領域の位置を算出する位置検出方法及びその装置、並びに

算出された配列座標に基づいて基板上の各微細パターン領域を順次露光位置へ位置決めしつつ重ね焼き露光を行なう露光方法及びその装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 半導体素子又は液晶表示素子等をフォトリソグラフィ工程で製造する際に、フォトマスク又はレチクル等（以下、一例として「レチクル」を使用する）のパターン像を投影光学系を介して感光材が塗布されたウエハ上の各ショット領域に投影する投影露光装置が使用されている。この種の投影露光装置として近年は、ウエハを2次元的に移動自在なステージ上に載置し、このステージによりウエハを歩進（ステッピング）させて、レチクルのパターン像をウエハ上の各ショット領域に順次露光する動作を繰り返す、所謂ステップ・アンド・リピート方式の露光装置、特に、縮小投影型の露光装置（ステッパー）が多用されている。

【0003】 例えば半導体素子はウエハ上に多数層の回路パターンを重ねて露光することにより形成されるので、2層目以降の回路パターンをウエハ上に投影露光する際には、ウエハ上の既に回路パターンが形成された各ショット領域とレチクルのパターン像との位置合わせ、即ちウエハとレチクルとの位置合わせ（アライメント）を正確に行う必要がある。このアライメントを行うために、ウエハ上には以前の工程で形成（露光転写）された位置検出マーク（アライメントマーク）が形成されており、このアライメントマークの位置を検出することで、ウエハ（ウエハ上の回路パターン）の正確な位置を検出することができる。

【0004】 近年、ウエハ（又はレチクル）上のアライメントマークを凹凸から成る1次元、又は2次元の格子状にし、その格子マーク上に周期方向に対称的に傾斜した2つのコヒーレントビームを投射し、格子マークから同一方向に発生する2つの回折光成分を干渉させて格子マークの周期方向の位置や位置ずれを検出する方法（以下、「干渉式アライメント法」と称する）が、例えば（A）特開昭61-208220号公報、（B）特開昭61-215905号公報等で提案された。このうち公報（A）は2つの対称的なコヒーレントビームの周波数を同一にしたホモダイナミック方式を開示し、公報（B）は2つの対称的なコヒーレントビームの間に一定の周波数差を持たせたヘテロダイナミック方式を開示している。

【0005】 またヘテロダイナミック方式では、2つの送光ビーム間の周波数差を基準交流信号とし、格子マークから発生した2つの回折光成分の干渉光（ビート光）を光電検出した信号と基準交流信号との位相差を計測し、それを格子マークの周期方向に関する基準点からの位置ずれ量として検出している。

【0006】 干渉式アライメント法を実現する光学系としては、格子マークへのコヒーレントビーム（レーザビーム）の入射方法から、大きく3つに分けられる。

(4)

特開平9-246175

5

6

【0007】1つは、格子マークの周期(=P)方向に対して対称的な±N次方向から、2本のレーザビームを入射し、格子マーク上に振幅の周期がP/Nの干渉縞を形成させ、これより垂直上方に反射・回折する回折光(両入射光の±N次回折光の合成光束; Nは自然数)を受光し、その光量変化に基づいて格子マークの位置を検出するタイプ(以下、「±N次検出法」と略称する)である。

【0008】2つめは、2本のビームを格子マークの周期に対する±N/2次方向から対称的に入射し、格子マーク上に振幅の周期が2P/Nの干渉縞を形成させ、一方の(第1の)入射光の0次回折光(正反射光)と他方の(第2の)入射光のN次回折光の合成光束と、第2の入射光の0次回折光と第1の入射光のN次回折光の合成光束とを独立に受光し、両光束の光量変化の各位相より得られる、2つの検出位置の平均値を、格子マークの位置とするタイプ(以下、「0N次検出法」と略称する)である。

【0009】3つめは、格子マークに対して、ビームを1本のみ入射し、反射・回折する2つの±N次回折光を基準格子上に結像させ、基準格子からの透過光の光量変化より格子マークの位置を検出するタイプ(以下、「基準格子法」と略称する)である。

【0010】なお、これら3つの方式による格子マーク検出位置には、原理的に全く差は生じない。ただし、±N次検出法、0N次検出法は、ヘテロダイン、ホモダインのいずれの方式へも適応可能だが、基準格子法は入射光束が1本であり、必然的にホモダイン方式に限定される。

【0011】また、上記の干渉式アライメント法の光源を、波長が異なる複数のビーム、又は白色ビームとし、光源(検出光)が単色であるための問題点、すなわち格子マーク(位置検出マーク)の段差(深さ)に関する非対称性や、レジスト厚の変動によって、大きな位置検出誤差が生じるという問題を低減する方策も、(C)特開平6-82215号公報によって提案されている。

【0012】このような位置検出マークは、以前の露光工程にて回路パターンと同時に各ショット毎に露光転写されたものである。従って、次の回路パターンの露光時に、これらの1ショット毎にその中の位置検出マークを検出し、その検出位置に基づいて新たなパターンを重ね合わせても良いが、多数のショット(及び露光回数)毎のマーク位置検出に要する時間がかさみ、露光装置の処理能力(スループット)が低下する。

【0013】そこで、露光時の位置合わせ方式として、ステッパーでは、例えば特開昭61-44429号公報等に掲載されるような、エンハンスド・グローバル・アライメント(以下、「EGA」という)方式が一般的に採用されている。このEGAは、ウエハ上の各ショット毎に形成されている上記位置検出マーク(アライメント

マーク)のうち、特定の10個程度を選びそれらの位置を検出し、得られた検出位置を統計処理して全ショットの「配列座標系」を求め、その配列座標系に従って、重ね合わせ露光を行なうものである。

【0014】

【発明が解決しようとする課題】一般にどのような種類の位置検出センサ(例えば前述の干渉式アライメントセンサ)を使用しても、その検出位置には多少の検出誤差がつきまとう。例えば、干渉式アライメント法においては、格子マークの非対称性や、レジスト厚の変動が検出誤差の原因となる。

【0015】これを更に詳述すると、一般にウエハ等の表面に形成される位置合わせ、位置計測用のマーク(アライメントマーク)は、その表面に微少な段差を持って作られるが、半導体加工工程上のエッチングやスパッタ等のウエハプロセス、あるいはフォトリソ層の塗布ムラによって、多少の非対称性を有している。その非対称性はマーク位置検出時の精度低下を招く。

【0016】特に、格子マークから発生した2つの回折光の相互干渉光を光量検出し、その光量信号を利用する干渉式アライメント法においては、格子マークの非対称性はマーク自体の振幅反射率の非対称性となって位置検出精度の劣化に作用する。すなわち、格子マークを構成するラインの溝底部の深さ(段差)等が格子周期方向に差を持ったり、レジスト層の厚みに部分的な差があった場合、マーク自体の振幅反射率の絶対値と位相とは、溝底部の深さやレジスト厚の変化に応じて非対称になる。この結果、格子マークから発生する回折光も例えば0次光に対して右方向に発生する正の次数と左方向に発生する負の次数とで強度や位相が異なったものになってしまう。このうち強度の差は位置検出精度を殆ど低下させないが、位相の変化は位置検出精度に大きな影響を与える。

【0017】また、格子マークの振幅反射率や回折効率、マークの段差やレジスト厚によっても大きく変動する。これは、マークの段差によって、マーク上面で反射する光と、マーク下面で反射する光との位相差が変化したり、レジスト厚の変化によって、レジストによる多重干渉効果が増減するためである。また、検出光の波長が変化するとこれらの影響も大きく変動する、すなわち、同一のマークの位置検出であっても波長が異なればマークの段差等の影響によって位置検出誤差が異なる。

【0018】この点、EGA方式によれば、これらの位置検出誤差は平均化され低減されうとも言えなくもない。

【0019】しかしながら、従来のEGA方式による平均化は、各マークの検出位置に含まれる検出誤差の大きさを考慮して行なわれるのではなく、また従来の位置検出センサには、検出誤差の大小の程度を推定する能力はなく、従ってEGA方式の平均化効果にも自ずと限界が

(5)

特開平9-246175

8

7

あった。

【0020】本発明は、かかる事情の下になされたもので、その目的は、基板上の全ての微細パターンの位置をより高精度に検出することができる位置検出方法及びその装置を提供することにある。

【0021】

【課題を解決するための手段】ところで、上述したマーク段差やレジスト厚の変動による格子マークの振幅反射率や回折効率の変動等や、位置検出精度は、種々のマーク条件のもとでマーク自体の振幅反射率を想定することにより、シミュレーションすることができる。

【0022】ここで、このような、シミュレーション結果の一例について図8に基づいて説明する。このシミュレーション結果は、レジスト層で被覆されたウエハ上の格子マークに対称的な2方向から一定の周波数差をもつコヒーレントな送光ビームを照射する場合を想定し、格子マークから垂直に発生した±1次回折光の相互干渉光、すなわち干渉ビーム光の状態（振幅、位相等）を観察（計算）することによって得られたものである。

【0023】なお、上記のシミュレーションで想定したウエハ上の格子マークの形状は、計測方向に、凸部、凹部が各幅が4μm、周期P=8μmで並ぶものである。格子マークの断面を図9（1）に、その1周期分の拡大図を、図9（2）に示すが、マークの段差h、レジスト厚dをパラメータとし、マークの凹部には傾き $\theta = 0.1\%$ のテーパーがあるものとした。また、マークの凹部ではレジスト表面が、 $0.3 \cdot h$ だけへこむものとし、レジスト表面の形状は正弦関数（周期P）とし、ウエハ、レジストの屈折率は、それぞれ3.5、1.66とした。なお、図9（1）ではスペースの都合で格子マークの本数を5本としたが、実際の格子マークはそれより本数が多いものが一般的である。

【0024】また、想定した検出光学系は、検出用レーザビームの波長が633nm（He-Neレーザ）であり、マークの周期Pに対する±1次の方向から対称的に2本のビームを入射し、垂直上方に反射・回折する光束（両入射光の±1次回折光の合成光束）を受光し、位置検出するもの（前述の「±1次検出法」（「±N次検出法」のN=1））とした。ただし、検出光学系として、2本のビームをマークの周期Pに対する±0.5次の方向から対称的に入射する「0.1次検出法」や、±1次回折光を使用する「基準格子法」であっても、前述の如く結果は全く同じである。

【0025】図8（1）、（2）において、縦軸はレジスト厚d[μm]を示し、横軸は位置検出誤差[μm]を示す。図8（1）には、マーク段差hが、50、100、150、200nmの場合を、図8（2）には、マーク段差hが、250、300、350、400nmの場合のシミュレーション結果がそれぞれ示されている。

【0026】検出誤差は、レジスト厚の変化によっても

変動するが、マーク段差hが100、及び300nmの場合には、変動も少なくその絶対精度も良好であることがわかる。

【0027】検出光の波長が633nm、レジストの屈折率が1.66であるから、マーク表面近傍（レジスト中）の検出光の波長は381nmであり、従って上記のマーク段差100及び300nmは、それぞれその1/4及び3/4にはほぼ等しい。また、図示は省略したが、検出光のレジスト中波長の5/4及び7/4……の段差、即ち $(2m+1)/4$ 倍（mは0以上の整数）の段差のマークでの検出誤差も、極めて小さくなることが、シミュレーションの結果、判明した。

【0028】以上のシミュレーション結果より、位置検出マークの段差が検出光のレジスト中波長の $(2m+1)/4$ 倍であれば、干渉式アライメントにおける検出誤差は極めて小さいことが分かる。従って、マーク位置の検出と同時にマーク段差量の検出ができれば、段差量によってその検出位置を含む検出誤差の大小をある程度正確に推定できると考えられる。

【0029】本発明は、単一波長の照明光による干渉式アライメント法において、マークの段差が、照明光の波長の（正確には照明光のレジスト中の波長の）、 $(2m+1)/4$ 倍（mは0以上の整数）であると、位置検出誤差がほとんど生じないという上記のようなシミュレーション上の結果に基づいて着想されたものであり、本発明は以下のような方法及び構成を採用する。

【0030】請求項1に記載の発明は、微細パターン、及び特定の方向に周期性（周期=P）を有して凹部と凸部を繰り返す位置検出用の格子マークが、複数ヶ所（M個以上）にそれぞれ形成された基板に対し、前記複数ヶ所の格子マークの前記周期方向の位置を検出し、かつそれらの検出位置を統計処理して、前記基板全面の前記微細パターンの位置を検出する位置検出方法であって、前記複数ヶ所の格子マーク上に、可干渉な光ビームの対をそれぞれ入射し、振幅分布の周期が $2P/N$ （Nは自然数）でその周期方向が前記各格子マークの周期方向に等しい干渉縞をそれぞれ形成するとともに、前記各干渉縞と前記格子マークとを前記周期方向に相対走査する第1工程と；前記複数ヶ所の格子マークによる前記入射光ビームの反射・回折光のうち、第1の光ビームの正反射光と第2の光ビームのN次回折光との合成光束である第1の合成光束と、前記第2の光ビームの正反射光と前記第1の光ビームのN次回折光との合成光束である第2の合成光束とを、順次かつそれぞれ別々に受光して光電変換する第2工程と；前記第2工程で順次得られる前記第1、第2の合成光束の各光量信号の前記相対走査に伴う変化より、前記複数ヶ所の格子マークの位置を順次検出する第3工程と；前記複数ヶ所の各格子マークの段差相当量を、前記第2工程で順次得られる第1、第2の合成光束の各光量信号の前記相対走査に伴う変化と前記各格

(6)

特開平9-246175

9

10

子マークの設計データに基づいて、前記各格子マークの段差を前記入射光ビームの当該各格子マーク表面近傍の媒質中での波長の半分で除した剰余として、順次算出する第4工程と；前記複数ヶ所の中の「番目（jは1からM）」の格子マークの前記段差相当量が、前記入射光ビームの当該「番目」の格子マーク表面近傍での波長の $1/4$ に近い場合には、該「番目」の格子マークの検出位置に大きな重みを付け、前記波長の $1/4$ から離れている場合には、該「番目」の格子マークの検出位置に小さな重みを付けて前記複数箇所の格子マークの検出位置を統計処理して前記基板全面の前記微細パターンの位置を算出する第5工程とを含む。

【0031】これによれば、第1ないし第3工程で、各格子マークのそれぞれについてON次検出法による干渉式アライメント法と同様の検出が行われ、得られる2つの光量信号（前記第1、第2の合成光束の光量信号）より、従来と同様に各格子マークの位置がそれぞれ検出される。

【0032】また、第4工程において、複数箇所の各格子マークの段差相当量が、第2工程で順次得られる第1、第2の合成光束の光量信号の相対走査に伴う変化及び各格子マークの設計データに基づいて、各格子マークの段差を入射光ビームの格子マーク表面近傍の媒質中での波長の半分で除した剰余として、順次算出される。これは、上記シミュレーションの結果、明らかになった「検出精度に大きく影響を与える、段差をレジスト中波長の $1/2$ で除した剰余」を段差相当量として各波長毎に検出するものである。なお、この段差相当量としては、剰余としての段差、あるいはこれに相当する光の位相量のいずれの形態で検出してもよい。これにより、位置検出すべき格子マークの段差が、検出光のレジスト中波長の $(2m+1)/4$ 倍という条件に適合するか否か、あるいは、検出光のレジスト中波長が位置検出すべき格子マークの段差の $4/(2m+1)$ 倍という条件に適合するか否かを、容易に判定することが可能となる。

【0033】そして、第5工程において、複数ヶ所の中の「番目（jは1からM）」の格子マークの段差相当量が、入射光ビームの当該「番目」の格子マーク表面近傍での波長の $1/4$ に近い場合には、該「番目」の格子マークの検出位置に大きな重みを付け、波長の $1/4$ から離れている場合には、該「番目」の格子マークの検出位置に小さな重みを付けて、複数箇所の格子マークの検出位置を統計処理して基板全面の微細パターンの位置を算出する。ここで、各波長の $1/4$ とは、上記の $(2m+1)/4$ の $m=0$ の場合に相当するが、段差相当量は上記の如く半波長に対する剰余なので、 $m>0$ の場合は考慮する必要がないので、段差相当量が入射光ビームの格子マーク表面近傍での各波長の $1/4$ 相当量に近いとは、結果的に段差相当量が入射光ビームの格子マーク表面近傍での各波長の $(2m+1)/4$ 倍に近いということに他

ならない。従って、第5工程においては、段差相当量から検定される検出誤差の大きいマークの検出値には小さな重みを、検出誤差の小さいマークの検出値には大きな重みを付けた新規の統計処理により、基板全面の微細パターンの位置が算出されることになり、従来に比べて高精度に基板全面の微細パターンの位置（配列座標）を算出することができる。

【0034】この場合において、請求項2に記載の発明の如く、第1工程において、前記複数ヶ所の格子マーク上に、可干渉な光ビームの対を波長の異なる複数組それぞれ入射し、振幅分布の周期が $2P/N$ （Nは自然数）でその周期方向が前記各格子マークの周期方向に等しい干渉縞をそれぞれ形成するとともに、前記各干渉縞と前記各格子マークとを前記周期方向にそれぞれ相対走査し、前記第2ないし第4工程の処理を、各波長毎に行って前記各格子マークの位置及び段差相当量を各波長毎に検出し前記第5工程において、それぞれの波長での前記格子マークの位置検出結果及び段差相当量の検出結果を用いて、各波長毎に前記複数箇所の格子マークの検出位置を前記重み付け統計処理を行い、前記基板全面の前記微細パターンの位置を算出するようにしてもよい。これによれば、検出光束が複数波長化され、それぞれの波長での位置検出結果及び段差相当量の検出結果を用いて、上記の重み付けをする新規の統計処理が行なわれるので、さらに高精度に基板全面の微細パターンの位置（配列座標）を算出することができる。

【0035】請求項3に記載の発明は、感光基板上の微細パターンが形成された所定のショット領域を露光位置に順次位置決めしつつ、マスクに形成されたパターンを前記各ショット領域に転写して重ね焼き露光を行なう露光方法であって、露光開始に先だって、請求項1又は2に記載の位置検出方法により前記感光基板上の各ショット領域の配列座標を算出後、この算出された配列座標に従ってショット領域を露光位置に順次位置決めしつつ重ね焼き露光を行なうことを特徴とする。

【0036】これによれば、前記の如く、感光基板上のショット領域の配列座標が従来より高精度に算出され、この算出された配列座標に従ってショット領域を露光位置に順次位置決めしつつ重ね焼き露光が行なわれるので、結果的により高精度な重ね合わせが実現される。

【0037】請求項4に記載の発明は、微細パターン、及び特定の方向に周期性（周期＝P）を持って凹部と凸部を繰り返す位置検出用の格子マークが、複数ヶ所（M個以上）にそれぞれ形成された基板に対し、前記複数ヶ所の格子マークの前記周期方向の位置を検出し、かつそれらの検出位置を統計処理して、前記基板全面の前記微細パターンの位置を検出する位置検出装置であって、前記複数ヶ所の格子マーク上に、振幅分布の周期が $2P/N$ （Nは自然数）でその周期方向が前記各格子マークの周期方向に等しい干渉縞をそれぞれ形成すべく、可干渉

(7)

特開平9-246175

11

な光ビームの対をそれぞれ入射する送光光学系と；前記複数ヶ所の格子マークによる前記入射光ビームの反射・回折光のうち、第1の光ビームの正反射光と第2の光ビームのN次回折光との合成光束である第1の合成光束と、前記第2の光ビームの正反射光と前記第1の光ビームのN次回折光との合成光束である第2の合成光束とを、それぞれ別々に光電変換する受光手段と；前記各格子マークと前記干渉縞とを前記周期方向に相対走査する相対走査手段と；前記受光手段より得られる前記第1、第2の合成光束の光量信号の前記相対走査に伴う変化より、前記複数ヶ所の格子マークの位置をそれぞれ検出する位置検出手段と；前記複数箇所の各格子マークの段差相当量を、前記受光手段より得られる前記第1、第2の合成光束の光量信号の前記相対走査に伴う変化と前記各格子マークの設計データとに基づいて、前記各格子マークの段差を前記入射光ビームの当該各格子マーク表面近傍の媒質中での波長の半分で除した剰余として、それぞれ検出する段差検出手段と；前記複数ヶ所の中のj番目（jは1からM）の格子マークの前記段差相当量が、前記入射光ビームの当該j番目の格子マーク表面近傍での波長の1/4に近い場合には、該j番目の格子マークの検出位置に大きな重みを付け、前記波長の1/4から離れている場合には、該j番目の格子マークの検出位置に小さな重みを付けて前記複数箇所の格子マークの検出位置を統計処理して前記基板全面の前記微細パターン

の位置を算出する演算手段とを有する。
 【0038】これによれば、送光光学系により複数箇所の格子マーク上に、振幅分布の周期が $2P/N$ （Nは自然数）でその周期方向が前記格子マークの周期方向に等しい干渉縞をそれぞれ形成すべく、可干渉な光ビームの対がそれぞれ入射され、相対走査手段によりこれらの干渉縞と各格子マークとが周期方向にそれぞれ相対走査される。

【0039】次に、受光手段において、複数ヶ所の格子マークによる入射光ビームの反射・回折光のうち、第1の光ビームの正反射光と第2の光ビームのN次回折光との合成光束である第1の合成光束と、第2の光ビームの正反射光と第1の光ビームのN次回折光との合成光束である第2の合成光束とが、それぞれ別々に光電変換される。位置検出手段では、受光手段より得られる第1、第2の合成光束の光量信号の相対走査に伴う変化より複数箇所の格子マークの位置をそれぞれ検出し、また、段差検出手段では、複数箇所の各格子マークの段差相当量を、受光手段より得られる第1、第2の合成光束の光量信号の相対走査に伴う変化と各格子マークの設計データとに基づいて、各格子マークの段差を入射光ビームの当該各格子マーク表面近傍の媒質中の波長の半分で除した剰余として、それぞれ算出する。

【0040】そして、演算手段では、複数ヶ所の中のj番目（jは1からM）の格子マークの段差相当量が、入

12

射光ビームの当該j番目の格子マーク表面近傍での波長の1/4に近い場合には、該j番目の格子マークの検出位置に大きな重みを付け、波長の1/4から離れている場合には、該j番目の格子マークの検出位置に小さな重みを付けて複数箇所の格子マークの検出位置を統計処理して基板全面の微細パターンの位置を算出する。

【0041】従って、請求項1に記載の場合と同様に、従来に比べて高精度に基板全面の微細パターンの位置（配列座標）を算出することができる。

【0042】ここで、位置検出手段は、請求項5に記載の発明の如く、相対走査に伴う第1の合成光束と第2の合成光束の各光量信号変化の各位相に基づいてそれぞれ求めた検出位置の平均値を格子マークの位置として検出するようにすることが望ましい。

【0043】また、段差検出手段は、請求項6に記載の発明の如く、各格子マークの凹部と凸部の各幅の比率と、相対走査に伴う第1の合成光束と第2の合成光束の各光量信号変化の位相差及びコントラストとに基づいて各格子マークの段差相当量を算出するようにしても良い。あるいは、請求項7に記載の発明の如く、格子マークより反射・回折する0次回折光とN次回折光との光量比を計測する光量比計測手段を更に有する場合には、段差検出手段は、各格子マークの凹部凸部の各幅の比率と、相対走査に伴う第1の合成光束と第2の合成光束との各光量信号変化の位相差と、光量比計測手段により得られた光量比とに基づいて各格子マークの段差相当量を算出するようにしてもよい。後者の場合には、0次回折光とN次回折光との光量比が直接的に計測されているので、コントラストに基づいて光量比を算出する前者の場合に比べて一層高精度に段差相当量を算出することができる。

【0044】また、請求項8に記載の発明の如く、前記送光光学系に代えて、複数ヶ所の格子マーク上に、順次振幅分布の周期が $2P/N$ （Nは自然数）でその周期方向が前記各格子マークの周期方向に等しい干渉縞を形成すべく、可干渉な光ビームの対を波長の異なる複数組入射する送光光学系が設けられている場合には、前記受光手段、前記位置検出手段及び前記段差検出手段は、前記複数の異なる波長毎に前記それぞれの処理を行ない、前記演算手段は、それぞれの波長での前記各格子マークの位置検出結果及び段差検出結果を用いて前記統計処理を行なうように構成してもよい。かかる場合には、請求項2に記載の発明と同様に、検出光束が複数波長化され、それぞれの波長での位置検出結果及び段差相当量の検出結果を用いて、上記の重み付けをする新規の統計処理が行なわれるので、さらに高精度に基板全面の微細パターンの位置（配列座標）を算出することができる。

【0045】この場合において、送光光学系は、請求項9に記載の発明の如く、前記複数ヶ所の格子マーク上に波長の異なる複数組の可干渉な光ビームの対を波長毎に

(8)

特開平 9-246175

13

時分割的に入射するようにしてもよい。かかる場合には、受光光学系や信号処理系の構成が簡略化される。ここで、時分割的とは、異なる波長の光ビームの対を交互に格子マーク上に入射する場合も含まれる。

【0046】請求項10に記載の発明は、感光基板上の微細パターンが形成された所定のショット領域を露光位置に順次位置決めしつつ、マスクに形成されたパターンを前記各ショット領域に転写して重ね焼き露光を行なう露光装置であって、前記請求項4ないし9のいずれか一項に記載の位置検出装置を前記感光基板上の各ショット領域の配列座標系の検出用として備え、この検出された配列座標系に従って重ね焼き露光を行なうことを特徴とする。

【0047】これによれば、請求項3に記載の発明と同様に、感光基板上のショット領域の配列座標が従来より高精度に算出され、この算出された配列座標に従ってショット領域を露光位置に順次位置決めしつつ重ね焼き露光が行なわれるので、結果的により高精度な重ね合わせが実現される。

【0048】

【実施例】以下、本発明の一実施例を図1ないし図7に基づいて説明する。

【0049】図1には、本発明に係る位置検出装置100を含んで構成された一実施例の露光装置200の主要部の構成が示されている。この露光装置200は、いわゆるステップ・アンド・リピート方式の縮小投影型露光装置（ステッパー）である。

【0050】この露光装置200は、光軸AX方向が鉛直軸方向（Z軸方向）とされた投影光学系PLと、この投影光学系PLの上方に配置され、光軸AXにはほぼ直交する水平面にマスクとしてのレチクルRを保持するレチクルステージRSTと、投影光学系PLの下方に配置され、基板としてのウエハWを保持するウエハステージWSTと、位置検出装置100と、主制御装置106とを備えている。

【0051】この露光装置200では、投影光学系PLとしては両側テレセントリックで所定の縮小倍率、例えば1/4の投影光学系が使用されている。

【0052】レチクルステージRSTは、不図示の駆動系によりXY2次元方向の微小移動と、光軸AX回りの微小回転が可能に構成されている。

【0053】ウエハステージWSTは、駆動モータを含む駆動系16によって投影レンズPLの光軸AXと垂直な面（XY平面）内で2次元方向に駆動されるようになっている。この駆動方式は、モータによって送りネジを回転させる方式、又はリニアモータによってステージ本体を直接運動させる方式のいずれでもよい。このウエハステージWST上に、不図示のウエハホルダを介してウエハWが吸着保持されている。このウエハステージWSTの移動位置（座標位置）はレーザ干渉計17によって

14

逐次計測される。このレーザ干渉計17の計測値は主制御装置106に入力され駆動系21のフィードバック制御に使われる。その他、レーザ干渉計17の計測値は後述する位置検出回路120にも入力されるようになっている。

【0054】また、前記ウエハステージWSTの一部には、フィジューショナルマーク（基準マーク）板FPが設けられている。このマーク板FPには石英ガラスの表面にクロム層でライン・アンド・スペースをパターンニングした基準マークFG（周期は後述するウエハ上の格子マークMGjと同一）が形成されている（図2参照）。実際の位置検出においては、ウエハW上の格子マークの位置検出に先立って、この基準マークFGの位置を検出し、装置に依存する様々な誤差を補正するが、その詳細は後述する。

【0055】ここで、本実施例では、ウエハホルダを介してウエハステージWST上に吸着保持された状態では、ウエハWの表面は投影光学系PLに関してレチクルRと共役面とされているものとする。このため、後述するように、レチクルRとウエハW上のショット領域とがアライメントされた状態では、不図示の光源からの露光光によりレチクルRが照明されると、レチクルRのパターン面に形成された回路パターンが投影光学系を介して1/4縮小倍率でウエハW上に投影され、ウエハW上のショット領域上に回路パターンの像が結像され、このようにして、当該ショット領域上に既に形成された微細パターン上にレチクルRの回路パターンが重ね焼きされるようになっている。

【0056】主制御装置106は、CPU（中央演算処理装置）、ROM、RAM等を含んで構成されたミニコンピュータ（又はマイクロコンピュータ）から成り、装置全体を統括制御する。

【0057】前記位置検出装置100は、この露光装置200では、いわゆるオフアクシスアライメント光学系を構成する位置検出機構系110と位置検出回路120とから構成されている。以下、この位置検出装置100について、詳述する。

【0058】図2には、位置検出装置100を構成する位置検出機構系110の具体的構成例がウエハステージWST等とともに拡大して示されている。この位置検出機構系110は、送光光学系102と、受光光学系104とを備えている。

【0059】この内、送光光学系102は、2つの半導体レーザ光源LS1、LS2、ミラー1、ダイクロイックミラー2、ミラー4、回転ラジアル格子板RRG、コリメータレンズ5、光束選択部材6、平行平板ガラスで構成された調整光学系7、8、9、ビームスプリッタ（ハーフミラー）10及び対物レンズ11等を含んで構成されている。ここで、この送光光学系102について上記構成各部の作用とともに説明する。

(9)

特開平9-246175

15

【0060】前記2つのレーザ光源LS1、LS2はそれぞれ異なる波長 λ_1 、 λ_2 のレーザビームLB1、LB2を射出する。本実施例では、例えば、レーザ光源LS1は $\lambda_1 = 670\text{nm}$ を射出し、レーザ光源LS2は $\lambda_2 = 780\text{nm}$ を射出するものとする。そして、これらのレーザ光源（以下、適宜「レーザ」という）を駆動するレーザ電源3は、一定の周波数で2つのレーザを交互に点灯させるとともに、どちらのレーザが点灯しているかのレーザ点灯信号L0を発生する。なお、この交互点灯の繰り返し周波数は、後述するビート周波数 $2 \cdot \Delta f$ の $1/100$ 程度以下とする。

【0061】2本のビームLB1、LB2は、ミラー1又はダイクロイックミラー2を介して同軸のビームLB0としてミラー4に入射し、ここで反射されて回転ラジアル格子板RRGに入射する。この格子板RRGは、一方向に等角速度で回転軸C0の回りに高速回転しており、この格子板RRGによって回折された各次数の回折光の周波数を、角速度に応じた分だけ増減させる作用を有する。

【0062】図3には、この回転ラジアル格子板RRGの拡大斜視図が示されている。この回転ラジアル格子板RRGは、円板状部材から成り、この格子板RRGには円周方向に沿って所定ピッチ間隔で透過型の位相回折格子RGが360度回って形成されている。ここでは、この格子板RRGの回転軸C0がXYZ座標系のX軸と平行に設定されているものとする。ビームLB0が格子板RRGの格子RGに垂直に入射すると、0次光D0以外に各数の回折光が発生するが、本実施例では ± 1 次回折光を用いてヘテロダイン方式を実現するので、図2、図3では格子板RRGからの ± 1 次回折光のみを示してある。

【0063】さて、ビームLB0が格子板RRGの格子RGに垂直に入射すると、図3にも示される如く、格子板RRGの格子RGからは、レーザLS1の点灯時には、波長 λ_1 のビームLB1から作られた1次回折ビーム $\pm D11$ （破線）が、レーザLS2の点灯時には、波長 λ_2 のビームLB2から作られた1次回折ビーム $\pm D12$ （2点鎖線）が発生する。各波長毎に1次回折ビームの回折角 θ は以下のように表される。

【0064】

$$[\text{数}1] \sin \theta_n = \lambda_n / P_{rg} \quad \cdots \cdots (1)$$

ここで添字 n は各波長の区別を表し（ $n = 1, 2, 3$ ）、 P_{rg} は格子RGの周期を表す。

【0065】一方、格子板RRGから発生した前記1次回折ビームは波長によらず一定の周波数偏移 Δf を受ける。すなわち、格子板RRGの格子RGがビームLB0を横切る速度を V とすると、 $\Delta f = V / P_{rg}$ で表され、+1次回折ビームの周波数は0次光D0の周波数より Δf だけ高くなり、-1次回折ビームの周波数は0次光D0の周波数より Δf だけ低くなる。このように、回転ラ

16

ジアル格子板RRGは、一種の周波数シフターとして機能する。

【0066】上記のようにして周波数シフトされた2つの波長成分の+1次回折ビーム $+D1n$ （ $n = 1, 2$ ）から成る送光ビーム $+LF$ 及び-1次回折ビーム $-D1n$ （ $n = 1, 2$ ）からなる送光ビーム $-LF$ と、0次光D0とは、図2に示されるように、コリメータレンズ5により主光線が互いに平行になるように変換され、光束選択部材6に達する。この光束選択部材6は、いわゆるフーリエ変換面に置かれる空間フィルタとして機能し、ここでは0次光D0が遮断され、1次回折光 $\pm D1n$ による送光ビーム $\pm LF$ が通過する。

【0067】その後、送光ビーム $\pm LF$ は傾斜量が可変な平行平板ガラスで構成された調整光学系7、8、9を介してビームスプリッタ（ハーフミラー）10に達する。

【0068】調整光学系7は送光ビーム $+LF$ と送光ビーム $-LF$ とのフーリエ空間での間隔を変えることなく、レンズ5の光軸に対して偏心させる機能を有し、調整光学系8、9は送光ビーム $+LF$ と送光ビーム $-LF$ との夫々の光軸に対する位置を個別に調整する機能を有する。すなわち、調整光学系7は対物レンズ11の光軸を中心とした放射方向に関する送光ビーム（ $\pm LF$ ）のウエハWに対する傾きを調整し、調整光学系8、9は、ウエハW上での対物レンズ11の光軸に対する送光ビーム $+LF$ 、 $-LF$ の開き角を調整する。

【0069】その送光ビーム $\pm LF$ はビームスプリッタ10で2つに分割され、一方（反射光）は対物レンズ11に入射し、それぞれ平行光束となって各波長毎に異なる角度で、ウエハWに入射する。

【0070】ここで、ウエハW上には、図6に示されるような断面形状を有する複数の格子マーク（位置検出マーク） MG_i （ $i = 1, 2, \cdots$ ）が予め形成されており、図2では格子マーク（位置検出マーク） MG_j （複数のマークの中の j 番めのマーク）が送光ビーム $\pm LF$ の入射位置に丁度位置している。

【0071】従って、この格子マーク MG_j 上には、波長 λ_1 の送光ビーム $\pm D11$ の干渉によって作られた干渉縞及び波長 λ_2 の送光ビーム $\pm D12$ の干渉によって作られた干渉縞のが、レーザLS1、LS2の点灯に同期して、同一周期、同一位相で交互に現れる。さらに、送光ビーム $+LF$ と $-LF$ との間の周波数差 $2 \cdot \Delta f$ のため、その干渉縞は格子マーク MG_j 上を一方（格子マークMGの周期方向）に等速度で移動しているように観測される。そしてその移動速度は、回転ラジアル格子板RRGの格子RGの速度 V に比例している。これより明らかに、本実施例では回転ラジアル格子板RRGによって相対走査手段が構成されている。

【0072】なお、図2から明らかに、ウエハW表面（格子マーク MG_j ）とラジアル格子板RRGと

(10)

特開平9-246175

17

18

は、コリメータレンズ5と対物レンズ11との合成系によって互いに共役（結像関係）になるように配置されている。そのためラジアル格子板RRGの格子RGの±1次回折光による回折像が、ウエハWの格子マークMGj上に形成されるが、0次光D0が遮へいされているため格子RGの振幅分布の周期の1/2の明暗像（干渉強度分布）が形成される。

【0073】本実施例では、その干渉縞のウエハW上での振幅の周期Pif（強度分布の周期の2倍）を、格子マークMGjの周期Pmqの2/N倍（Nは自然数）に設定する。このとき、上記2波長のいずれについても、一方の（第1の）入射ビーム（例えば+LF）の格子マークMGjによる0次回折光（正反射光）と、他方の（第2の）入射ビーム（例えば-LF）の格子マークMGjによるN次回折光とは、同一方向に発生し互いに干渉する第1の合成光束となり、また第2の入射ビームの格子マークMGjによる0次回折光と、第1の入射ビームの格子マークMGjによるN次回折光も、同一方向に発生し、互いに干渉し合う第2の合成光束となる。そしてこれらの第1、第2の合成光束は、光源である入射ビーム±LFの周波数差に応じて、周波数2・Δfで強度変調されたビート光となっている。

【0074】なお、このように、各0次回折光と各N次回折光を同一方向に発生させるためには、別の見方をすれば対物レンズ11の焦点距離をF0として各波長毎の送光ビーム±LFのフーリエ変換面（ビームスプリッター近傍）上での間隔DLnを、格子マークMGjの検出方向について

$$DLn = \pm N \cdot F0 \cdot \lambda n / Pmq \quad \dots\dots\dots (2)$$

に設定すればよい。このような各波長毎の間隔DLnの設定は、回転ラジアル格子板RRGの格子RGの周期やコリメータレンズ5の焦点距離を適当に定めることで調整可能である。

【0075】さらには、格子マークMGjが多少デフォーカス（光軸AX方向にずれる）した状態でもその検出位置に誤差が生じないように、送光ビーム±LFは格子マークMG（ウエハW）に等傾角で入射すること。すなわちフーリエ変換面上で光軸AXから格子マークMGjの検出方向にそれぞれ、DLn/2だけ離れた位置を通ることが望ましい。

【0076】すなわち、本実施例の位置検出装置100の構成は、従来の「0N次法」の構成に近いものとなる。

【0077】ところで、光学系5、11等にわずかも色収差があると、ウエハW上に形成される干渉縞は、それぞれの色で相互に位置ずれ（位相ずれ）、及び周期ずれを起こしてしまう恐れがある。そこで、このようなずれを補正するために、図2中の調整光学系7、8、9を用いる。これらの光学系7、8、9は平行平板ガラスで

構成され、その材料として色分散の大きいものを用いると、各波長成分毎にウエハW上に形成される干渉縞の相互の位置ずれや位相ずれを微小に変化させることができる。あるいは調整光学系7、8、9として、色分散の小さい平行平板ガラスと色分散の大きい平行平板ガラスとを組み合わせ、色分散の大きい平行平板ガラスの傾き調整で各波長成分毎の干渉縞の相互の関係を補正し、その補正によって生じる送光ビーム±LFのウエハW上での全体的な傾き誤差に関しては、色分散の小さい平行平板ガラスの傾き調整で補正することができる。

【0078】次に、前記受光光学系104について説明する。この受光光学系104は、前記対物レンズ11、集光レンズ（フーリエ変換レンズ）12、参照格子SG、空間フィルタ13、受光手段としての光電変換器（ディテクタ）15a、15b及び基準信号発生用の光電変換器14とを有している。ここで、この受光光学系104について、上記構成各部の作用とともに説明する。

【0079】前述したような干渉縞によって照明された格子マークMGjから発生した第1、第2の合成光束A、Bは、対物レンズ11、ビームスプリッタ10を通過してそれぞれ光電変換器（ディテクタ）15a、15bに入射し、その光信号は電気信号IA、IBに変換される。この光電信号IA、IBは、レーザ光源LS1、LS2の交互の点灯により、波長λ1の光束による信号と波長λ2の光束による信号とが、交互に現れる。そして各波長での信号は、上記の干渉縞が格子マークMGj部分を照射する間、いずれもビート周波数2・Δfと同じ周波数で変化する正弦波となる。

【0080】一方、コリメータレンズ5の方からビームスプリッタ10を透過した光束（送光ビーム±LF）は、集光レンズ（フーリエ変換レンズ）12に入射する。そして、透過型の参照格子SG上に重畳して照射される。ここでも参照格子SGはコリメータレンズ5と集光レンズ12との合成系に関して回転ラジアル格子板RRGと共役配置されている。このため参照格子SG上にも1次ビーム±LFの2光束干渉による1次元の干渉縞が形成され、それはビート周波数2・Δfに対応した速度で移動する。

【0081】そこで、参照格子SGの周期とその干渉縞の周期とを適当に定めると、参照格子SGから発生した±1次回折光が同一方向に干渉ビームBmsとなって進み、それは空間フィルタ13を透過してディテクタ14に受光される。このディテクタ14の光電信号Imso、ビート周波数2・Δfと同じ周波数の正弦波となり、その信号Imsoがヘテロダイン方式の基準信号となる。もちろんこの基準信号Imsoも、レーザ光源LS1、LS2の交互の点灯により、交互に波長λ1の光束による信号と波長λ2の光束による信号とに変化する。

【0082】なお、以上説明した本実施例の位置検出機

(11)

特開平9-246175

19

20

構系110では、光源として半導体レーザを用いるが、この場合半導体レーザ(LS1、LS2)と各ミラー1、2とのそれぞれの間に非点収差除去用の整形光学系(傾斜した複数枚の平行平板ガラス等)を設け、1本に合成されたビームLB0の各波長成分毎の光束成分をほぼ等しい径にするのが好ましい。

【0083】図4には、位置検出装置100を構成する位置検出回路120の一例が示されている。この位置検出回路120は、位相差検出回路SAと、検出位置補正回路CAと、重み付けEGA処理回路WEGAとを含んで構成されている。ここで、この位置検出回路120を構成する各回路の役割を簡単に説明する。

【0084】本実施例のようなヘテロダイン方式の場合、前述の如く、上記の干渉縞が格子マークMGj部分あるいは、基準マークFGを照射するとき、各光電信号IA、IB及びImは、いずれもビート周波数2・Δfと同じ周波数の正弦波となる。これらの信号の一例が図5に示されている。

【0085】この内、図5(1)は、ディテクタ15aの出力である。第1の合成光束中の光量信号IAを示し、同図(2)はディテクタ15bの出力である光量信号

$$\Delta X_n = \{ \Delta A_n \cdot N \cdot P_{mq} / (2\pi) + \Delta B_n \cdot N \cdot P_{mq} / (2\pi) \} / 2$$

----- (3)

を出力する。ここで添字nは、検出光の波長の区別を表す。すなわちレーザ光源が多波長である場合には各波長(λn)毎にこれを検出する。具体的には、図2中のレーザ光源3より発生するレーザ点灯信号LoがレーザLS1の点灯を示す間に取り込んだ信号IA、IB、及びImより求めた検出位置がΔX1であり、レーザLS2の点灯を示す間に取り込んだ信号IA、IB、及びImより求めた検出位置がΔX2である。

【0087】さらに、位相差検出回路SAは、各入力信号IA、IB、及び不図示のコンソール等から入力した格子マークMGjの凹部、凸部の各幅a、bに基づいて格子マークMGjの段差相当量δnを、真の段差を波長λnの検出光束の格子マークMGjの表面近傍での波長λmの半分λm/2で除した剰余である光の位相差として算出する。格子マークMGjの表面近傍での波長λmとは、例えば格子マークMGjが、レジストやガラス(PSG)等の透明物質で覆われている場合には、その透明物質(媒体)中での波長を意味し、格子マークの表面がむき出しになっている場合には、空気中の波長、すなわちλnそのものを意味する。また、段差相当量δnの算出アルゴリズムは本発明(実施例)の特徴であり、その詳細については後述する。

【0088】ところで、上記の検出位置ΔXnとは基準信号Imに対する位置ずれ(位相ずれ)量を検出したものであり、ウエハW上の格子マークMGjそのものの位置を検出したものではない。従って、基準信号Imから求める上記位置ずれ量と、ウエハW上の位置を対応させ

*号IBを示す。また、同図(3)はディテクタ14の出力である基準信号Imを示す。これらの信号の間には基準信号Imを基準として、ΔA、ΔBの位相差が存在する。そしてこれらの位相差量は、格子マークMGjの位置及び段差量に対応したものとなっている。またレーザ光源を多波長化した場合、これらの信号の位相関係(ΔA、ΔB)やその振幅(最大値AMAX、BMAX、最小値AMIN、BMIN)の値は光源波長毎に異なったものとなる。

【0086】図4の位置検出回路120においては、位相差検出回路SAにより、まずこれらの位相差ΔA、ΔBが検出される。この位相差を格子マークMGjの位置に変換するには、N・Pmq/(2π)倍(Nは前述の如く格子マークMGjの周期Pmqと格子マークMGj上に形成する干渉縞の振幅の周期の比の倍)すれば良いが、従来技術の説明の項で述べたとおり、「0N次法」では、これら2つの位相差からそれぞれ求めた検出位置の平均値が、各波長についての格子マークMGjの検出位置であるので、位相差検出回路SAは平均値ΔXnとして、

【数3】

るには、ウエハW上又はウエハステージWST上に位置基準が必要である。

【0089】前述した基準マークFGは、この位置基準となるマークであり、ウエハW上の格子マークMGjの位置検出に先立って、先ず基準マークFGの位置を検出し、基準信号Imから求める上記位置ずれ量と、ウエハステージWST上の位置との関係を求めておく(ベースラインチェック)。具体的には、先ず、基準マークFGが位置検出ビーム±LF照射位置に位置するようウエハステージWSTを移動する。このウエハステージWSTの移動は、主制御装置106によりレーザ干渉計17の出力をモニタしつつ駆動系16を介して行なわれる。

【0090】そして、位相差検出回路SAでは上記のような位置検出を基準マークFGに対して行ない、基準信号Imに対する基準マークFGの位置ΔFXnを求める。検出位置補正回路CAは、この各波長毎の検出位置ΔFXnと、このときのレーザ干渉計17の出力LFGを不図示のメモリに記憶する。この場合において、各波長での干渉縞の位置がウエハW(及び基準マークFG)上で完全に一致するように光学系が調整されていれば、ΔFXnは各波長λnで等しくなる。

【0091】次に、主制御装置106により格子マークMGjの各設計座標値(Xj、Yj)に基づいてウエハステージWSTが移動され、ウエハW上のM個の格子マークMGjの位置検出が順次行なわれるが、検出位置補正回路CAは、そのステージ位置でのレーザ干渉計17の出力LFGと、メモリに記憶した基準マークFG検

(12)

特開平9-246175

21

出位置での出力しFGの差に、各波長毎の検出結果 ΔX_n を加え、さらに上記 $\Delta F X_n$ を引いた値 $X_{in'}$ を、j番目の格子マークMGjの各波長 λ_n での検出位置として出力する。また、上記の段差相当量 δn についても、j番目の格子マークMGjの各波長 λ_n での検出段差相当量 δin として出力する。

【0092】以上により求めた検出位置 $\Delta X_{in'}$ 、段差相当量 δin をもとに、重み付けEGA処理回路WEGAは、ウェハW上のM個の格子マークMGjの「配列座標系」を算出する。この配列座標系とは、従来のEGAと同様、6個のパラメータ $S_x, S_y, R_x, R_y, O_x, O_y$ により表される座標変換系であるが、その算出方法の詳細は後述する。

【0093】なお、これまでの説明では、説明の簡略化のために、検出方向がX方向の各格子マークMGjについて、X方向についてのみ位置検出を行なうものとしたが、一般にアライメント装置は、2次元の位置検出が必要であり、実際には、露光装置200では上記と同様の位置検出装置（不図示）がY方向用としても設けられており、当然ながらこの位置検出装置を用いてY方向の位置についてもY方向の格子マークの位置検出を行なうようになっている。

【0094】次に、本実施例の特徴である、格子マークMGjの段差量の検出原理及び方法について説明する。

【0095】図6には、格子マークMGjの一例が拡大*

$$\psi A(u) = \phi a \cdot \sin(\pi a u) / (\pi u) \quad \text{----- (4)}$$

となる。ここでuは、回折角 θ に対し、

$$u = \sin \theta / \lambda_n \quad \text{----- (5)}$$

であり、同様に幅bの凸部から発生する回折光の振幅分布は、

$$\psi B(u) = \phi b \cdot \sin(\pi b u) / (\pi u) \quad \text{----- (6)}$$

である。これらは、 $u=0$ （0次回折光）では、それぞれ、 $a \cdot \phi a$ 、 $b \cdot \phi b$ となる。

【0097】そして、凹部、凸部が、図7の如くピッチ☆

$$\phi(u) = \{\psi A(u) + \psi B(u) \cdot \exp(\pi i P u)\} \times \text{Pir}(u) \quad \text{----- (7)}$$

$$\text{Pir}(u) = \sin\{1 \pi P u\} / \sin(\pi P u) \quad \text{----- (8)}$$

（1は周期的格子マークMGjの繰り返し数（整数））となる。（7）式の導出に際し、凹部の中心を回折光の位相の基準としたが、勿論凸部の中心を基準としてもかまわない。

【0098】上記の $\text{Pir}(u)$ は、回折格子の「周期項」と呼ばれるものであり、格子マークMGjの繰り返し数1が大きければ、K次回折光に相当する、 $u=K/P$ （Kは整数）でのみ0でない値1をもち、それ以外ではほとんど0となる。本実施例においては格子マーク◆

$$\phi_0 = a \cdot \phi a + b \cdot \phi b \quad \text{----- (9)}$$

$$\phi_N = a' \cdot \phi a + (-1)^N \cdot b' \cdot \phi b \quad \text{----- (10)}$$

$$a' = P \cdot \sin(N \pi a / P) / \pi \quad \text{----- (11)}$$

$$b' = P \cdot \sin(N \pi b / P) / \pi \quad \text{----- (12)}$$

となる。

22

*して示されており、凹部の幅がa、凸部の幅がb、凹部間の段差はhであるとする。なお、図6及び以下の説明では、簡略化のために格子マークMGj上にレジストは塗布されていない、すなわち $\lambda_m = \lambda_n$ となっているものとする。また、凹部、凸部のそれぞれの波長 λ （は上記 λ_n （ $n=1, 2$ ）のいずれか）の検出光に対する振幅反射率は、 ϕa 、 ϕb であるとする。なお、このときに振幅反射率 ϕa 、 ϕb は、深さ方向に（図6中上下方向に）同一位置の面内での反射光の振幅を表わすものとする。具体的に説明すれば、この基準面を格子マークMGjの凸部の表面とすると、例えば ϕa は、凹部表面での振幅反射率に、段差hの往復光路差（位相差）に相当する因子、すなわち $\exp(4 \pi i h / \lambda)$ を掛けたものとなる。 ϕb についても同様であるが、ここではマークMGjの凸部表面を基準面としているので、光路差（=0）の因子は $\exp(4 \pi i 0 / \lambda) = 1$ となる。従って、 ϕa と ϕb の位相差が求めれば、段差量hを求めることができる。

【0096】一般に、図6中の凹部、凸部のそれぞれから発生する回折光の回折方向に対する振幅分布は、 $s_1 n c$ 関数として表される。例えば、幅aの凹部から発生する回折光の振幅分布は、図6の段差パターン周期方向に対して、

【数4】

※ ※ 【数5】

★ 【数6】

★30

☆Pで周期的に並んだパターンからの回折光の振幅分布は、

【数7】

◆Gからの0次回折光とN次回折光のみを使用するので、 $\text{Pir}(u)$ を一定値（1）としてよい。また、

（7）式中の $\exp(\pi i P u)$ は、0次回折光（ $u=0$ ）に於ては1となり、 $\pm N$ 次回折光（ $u=\pm N/P$ ）に於ては（-1）^Nとなる。これより、図6に示されるような格子マークMGjから発生する0次及びN次回折光、 ϕ_0 、 ϕ_N は、それぞれ、

【数8】

50 【0099】このように、回折光振幅 ϕ_0 、 ϕ_N が、振

(13)

特開平9-246175

23

24

幅反射率 ϕ_a 、 ϕ_b から導出される過程を、複素数の極座標で表示したものが図7である。なお、図7中では、簡略化のために ϕ_a を実数(Real軸上)としているが、 ϕ_a 、 ϕ_b 間の位相差 $(4\pi h/\lambda = \omega)$ が不変であれば、 ϕ_a を複素数としても導かれる結果は変わらない。また図7では、簡略化のために $N=1$ の場合のみが図示されているが、以下の議論は2以上の N についても同様に成り立つものである。

【0100】図7(1)は、振幅反射率 ϕ_a 、 ϕ_b より、0次回折光振幅 ϕ_0 が決定されることを表し、図7(2)は、振幅反射率 ϕ_a 、 ϕ_b より、1次回折光振幅 ϕ_1 が決定されることを表す。前述の如く振幅反射率 ϕ_a と振幅反射率 ϕ_b の間の位相差は ω であるとしている。図7(3)は、同図(1)、(2)より得られた ϕ_0 、 ϕ_1 を同一の極座標上に書き表したものであり、図中*

$$A_{MAXn} = B_{MAXn} = (|\phi_0| + |\phi_N|)^2 \quad \text{..... (13)}$$

$$A_{MINn} = B_{MINn} = (|\phi_0| - |\phi_N|)^2 \quad \text{..... (14)}$$

となる。また、両信号のコントラスト r は、

$$r = (A_{MAXn} - A_{MINn}) / (A_{MAXn} + A_{MINn}) \\ = 2 \cdot |\phi_0| \cdot |\phi_N| / (|\phi_0|^2 + |\phi_N|^2) \quad \text{..... (15)}$$

であるから、コントラスト r を計測すれば、(15)式より、

$$|\phi_N| = \beta \cdot |\phi_0| \quad \text{..... (16)}$$

$$\beta = \{1 \pm \sqrt{1 - r^2}\} / r \quad \text{..... (17)}$$

となって、比 β が求まる。式(17)中の \pm は、一義的には決定できないが、一般に N 次回折光の強度は0次回折光よりも弱いので、 $-$ (マイナス)の方を採用する。そ

$$\phi_N = \beta \cdot \phi_0 \cdot \exp(i\Delta) \quad \text{..... (18)}$$

と表すことが可能となる。

【0102】以上の Δ 及び β が求まると、上記の、振幅反射率から回折光振幅を導出した過程を逆にたどり、回折光振幅 ϕ_0 、 ϕ_N から、格子マークMGJの振幅反射率 ϕ_a 、 ϕ_b を求めることができる。具体的には、既知となったパラメータをもとに、式(9)、(10)からなる連立方程式を解けばよい。

【0103】一般に半導体集積回路の加工において、パターン線幅の制御性は優れている。従って、格子マーク

$$\phi_a = \{b' \cdot \phi_0 - (-1)^n \cdot b \cdot \phi_N\} / C \quad \text{..... (19)}$$

$$\phi_b = \{a' \cdot \phi_0 - a \cdot \phi_N\} / C \quad \text{..... (20)}$$

($C = a \cdot b' - (-1)^n \cdot a' \cdot b$)を得る。(40* ϕ_N には、式(18)が代入される。)

式(19)、(20)中で、 ϕ_0 の位相は既知ではないが、最終結果として ϕ_a と ϕ_b の位相差 $(=\omega)$ が分かれば良いので、 ϕ_0 の位相(Real軸とのなす角)は任意の値であって構わない。

$$\omega_a = \tan^{-1} \{ \text{Im}(\phi_a) / \text{Re}(\phi_a) \} \quad \text{..... (21)}$$

$$\omega_b = \tan^{-1} \{ \text{Im}(\phi_b) / \text{Re}(\phi_b) \} \quad \text{..... (22)}$$

である。そして、両者の差 $\omega_b - \omega_a = \omega$ として、 ϕ_a 、 ϕ_b の位相差 ω が求まる。位相差 ω は、その絶対値として最大で 4π [rad]までの値をとり得るが、三角関

*の ϕ_0 と ϕ_1 の位相差(0次回折光と1次回折光の位相差) Δ は、図5の合成光束A、Bの光量信号 I_A 、 I_B の「位相差」(すなわち $\Delta B - \Delta A$)の半分の値に等しい。すなわち、光量信号 I_{An} 、 I_{Bn} から測定できる量である。もちろん、これは $N=1$ の場合のみに限ったことではなく、任意の N (ϕ_N)で正しい。

【0101】また、 ϕ_N と ϕ_0 の大きさの比 $(|\phi_N| : |\phi_0|)$ についても上記の合成光束の光量信号 I_{An} 、 I_{Bn} から測定することが可能である。両信号 I_{An} 、 I_{Bn} の最大値 A_{MAXn} 、 B_{MAXn} は、 ϕ_0 と ϕ_N が同位相で振幅加算された状態での強度であり、最小値 A_{MINn} 、 B_{MINn} は、 ϕ_0 と ϕ_N が逆位相で振幅加算された状態での強度であるから、

【数9】

※ ※【数10】

★【数11】

★

☆して、これにより ϕ_N を、

【数12】

◆MGJの凹部、凸部の幅 a 、 b は、ほぼ設計値通りとな

っており、即ち既知である。そして、凹部、凸部の幅 a 、 b より算出される a' 、 b' も同じく既知である。このため、式(9)、(10)からなる連立方程式中で、未知の変数(計測されていない変数)は ϕ_a 、 ϕ_b のみであり、従って連立方程式を ϕ_a 、 ϕ_b について解くことができる。その結果、

【数13】

【0104】以上により、式(19)、(20)から、 ϕ_a 、 ϕ_b の値(複素数)が求まる。そして、 ϕ_a 、 ϕ_b の実数部、虚数部から両者それぞれの位相 (ω_a, ω_b) が求まる。即ち、

【数14】

数 (\tan^{-1}) の周期性から、 ω の値が 2π を越える場合、 $\omega - 2\pi$ を ω とし、 ω の値が負であるときには、 ω が正になるまで 2π を加えたものを ω とする。

(14)

特開平9-246175

25

26

【0105】この位相差 ω は、前述の如く段差 h の往復光路差（位相差）に相当するものであり、

*【数15】 $\omega = 4\pi h / \lambda$ 、すなわち、

$$h = \omega \cdot \lambda / (4\pi)$$

----- (23)

の関係より、最終的に段差 h を求めることができる。但し、ここでの段差 h は、上記の ω の決定方法より、0から $\lambda/2$ の範囲となる。すなわち、真の段差に対して、検出光束の半波長で剰余をとったもの（以下、「 h' 」とする）となる。

からの出力値は、段差 h' よりも、その位相差である方が好ましい。その位相差 δn とは、段差 h の往復の位相差 ω の半分（ $\delta n = \omega/2$ ）である。この位相差 δn も真の位相差に対して、検出光の半波長相当の位相差（ π ）で剰余をとったものとなる。

【0106】なお、以上の説明は図6の如くレジストに覆われていないマークに対するものであったが、レジストやガラス（PSG）等の透明膜に覆われたマークについても上記論理はほとんどそのまま適用できる。但し、上記論理中で振幅反射率は ϕ_a 、 ϕ_b は、透明膜とマーク表面との多重干渉を考慮したものとし、(23)式中の波長 λ は、透明膜中の波長（空気中の波長を透明膜の屈折率で割った値）であるとすれば良い。

【0111】もちろん、重み付けEGA回路WEGAにおいて、上記検出位置 $\Delta X_{jn'}$ に対する重み付けを、段差量そのものに基いて行なってもよく、その場合には位相差検出回路SAの出力値を、段差 h' とすればよい。しかし、(23)式から求まる段差 h' は、格子マークMGがレジスト等で覆われていると、レジスト等の屈折率（格子マーク近傍での屈折率）の影響を受けるが、 $\delta = \omega/2$ の関係は、レジストの屈折率の影響を受けないので、上記選択は、位相量 δn に基いて行なった方がよい。

【0107】本実施例においては、以上の原理により、格子マークMGの段差量を計測する。すなわち、図4中の位相差検出回路SAは、まず前述の位置検出時に求めた各光量信号IA、IBの基準信号Imoとの位相差 ΔA 、 ΔB の差の半分の量 Δ を算出する。次に、位相差検出回路SAでは内部の不図示のピークホールド回路及びボトムホールド回路により、同信号の最大値 A_{MAXn} 、 B_{MAXn} 及び最小値 A_{MINn} 、 B_{MINn} を検出し、これよりそれぞれの信号のコントラスト γ を算出する。なお、同信号のコントラストは段差パターンによほどの非対称性がない限り等しいが、もし異なる場合はその平均値を採用する。

20

【0112】但し、(23)式による段差 h' の算出時に、波長 λ として真空中の波長を使用するなら、 h' は段差量としては正確な値ではないが、位相量 δn と同じくレジストの屈折率の影響を受けなくなる。

【0108】位相差検出回路SAは、さらにコントラスト γ と式(17)から ϕ_N と ϕ_0 の大きさの比 β を求め、この β と上記位相差 Δ と式(18)から ϕ_N と ϕ_0 の正確な（複素数としての）関係を求める。

30

【0113】以上の説明では、格子マークMGの例として、図6の如く、凹部と凸部の境界（側壁）が垂直なマークについて段差相当量を検出する場合について説明したが、側壁にテーパーのあるようなマークであっても、もちろん高精度な段差検出が可能である。この場合、入力する凹部、凸部の各幅 a 、 b は、 $a+b=P$ ではなくなるが、上記と同様これら a 、 b の値に基づいてマーク段差を算出すれば良い。

【0109】そして、位相差検出回路SAは、例えばコンソール（不図）からオペレーターが入力する等の手段により与えられた、格子マークMGの凹部、凸部の各幅 a 、 b 及び周期 P の値と式(11)、(12)とを用いて a' 、 b' の値を算出し、これを式(19)、(20)に代入し、 ϕ_a 、 ϕ_b の値（複素数）を算出する。そして、さらに式(21)、(22)より、 ϕ_a 、 ϕ_b のそれぞれの位相 ω_a 、 ω_b を求め、その差 ω を前述の如く算出する。なお、一般にはウエハ上の複数個の格子マークMGの凹部、凸部の各幅 a 、 b は、すべてのマークで等しい値である。

40

【0114】次に、本実施例の重み付けEGA処理回路WEGAについて説明する。

【0115】この重み付けEGA処理回路WEGAは、上で説明した格子マークMGの検出位置 $\Delta X_{jn'}$ 、段差相当量 δ_{jn} をもとに、ウエハW上のM個の格子マークMGの「配列座標系」を算出する。なお、従来のEGAにおいても同様であるが、一般にウエハ上にステップ等を用いて露光形成された微細パターンの各ショット領域の配列精度は極めて良好であり、M個の格子マークの配列座標系すなわち、このM個の格子マークMG（ $j=1, 2, \dots, M$ ）を含むMショットの配列座標系は、全ショットの配列座標系とほとんど等価であると考えてよい。

【0110】この位相差 ω より、前述の如く(23)式から、段差 h' を求めることももちろん可能である。しかし、重み付けEGA回路WEGAにおいては、検出位置補正回路CAによる各格子マークMGの（あるいはさらに各波長毎の）検出位置 $\Delta X_{jn'}$ に対する重み付けを、段差量そのものではなく、段差量の各検出波長に対する位相差に基づいて行なうので、位相差検出回路SA

50

【0116】本実施例の重み付けEGA処理回路WEGAは、各格子マークMGの上記各検出位置 $\Delta X_{jn'}$ 及び各設計座標値（ X_1, Y_1 ）の統計処理において、各検出位置 $\Delta X_{jn'}$ に含まれると推定される検出誤差に、逆比例するような重み付けを行なう。検出誤差の推定は、前述した「検出光束のレジスト中波長の（ $2m+1$ ）/4倍のマーク段差では、検出誤差が極めて小さく

(15)

特開平9-246175

27

28

る。」という原理に基づいたもので、格子マークMG_jの各波長 λ_n による検出段差相当量 δ_{jn} が、 $\pi/2$ [rad] (検出光束の波長 λ_n の $1/4$ に相当 ($m=0$: 段差相当量 δ_{in} は、半波長の剰余なので $m>0$ は考慮しなくて良い) に近いかな否かによって行ない、その格子マークMG_jでの重み量を決定する。

【0117】この結果、最終的な配列座標系には、より検出誤差の少ないマークの(及び波長での)検出位置が*

$$W_{jn} = \cos(\delta_{jn} - \pi/2) \quad \dots\dots\dots (24)$$

や、

$$W_{jn} = [1 + \cos\{2 \cdot (\delta_{jn} - \pi/2)\}] / 2 \quad \dots\dots\dots (25)$$

を使用する。もちろんウェイト W_{in} は、上記以外にも δ_{in} が $\pi/2$ 近傍で大きく、 $\pi/2$ から離れる程小さくなるものであればどのようなものであっても良い。

【0119】一般に、EGAでは、前述の如きj番めの★

$$X_{in'} = S_x \cdot X_j + R_x \cdot Y_j + O_x + \Delta X_{in} \quad \dots\dots\dots (26)$$

なる線型な関係を当てはめ、この時の残差 ΔX_{in} の2乗和(j及びnについての和)が、最小になるように(最小2乗法)、パラメータ S_x , R_x , O_x の各値を決定する。また、同様にk番めのY方向計測用の格子マークM☆20

$$Y_{kn'} = R_y \cdot X_k + S_y \cdot Y_k + O_y + \Delta Y_{kn} \quad \dots\dots\dots (27)$$

から、残差 ΔY_{kn} の2乗和が最小となるようにパラメータ S_y , R_y , O_y の各値を決定する。ここで、 S_x , S_y はそれぞれX、Y方向へのマーク位置の(すなわちウエハの)伸縮量であり、 R_x , R_y は、マーク位置の(すなわちウエハの)回転量である。この回転量 R_x , R_y は、厳密に言えば、EGAに先立って行なわれるレチクルRとウエハWのグローバルアライメント(回転位置合わせ)時の残存回転量と、ウエハ配列座標系の直交度誤差と、上記 S_x , S_y との関数であるが、ここでは、説明の簡略化のため、回転量 R_x , R_y とする(このように◆

$$\Sigma \Delta X_{in'}^2 = \Sigma (X_{in'} - S_x \cdot X_j - R_x \cdot Y_j - O_x)^2 \quad \dots\dots\dots (28)$$

であり、これを最小とするパラメータ S_x , R_x , O_x は、

【数21】

$$\partial \Sigma \Delta X_{in'}^2 / \partial S_x = 0 \quad \dots\dots\dots (29)$$

$$\partial \Sigma \Delta X_{in'}^2 / \partial R_x = 0 \quad \dots\dots\dots (30)$$

$$\partial \Sigma \Delta X_{in'}^2 / \partial O_x = 0 \quad \dots\dots\dots (31)$$

(偏微分値が0、即ち極小値)より、求めることができる。同様にして、(27)式で表されたY側のパラメータ*40

$$\Sigma \Delta X_{in'}^2 = \Sigma \{W_{jn} \cdot (X_{in'} - S_x \cdot X_j - R_x \cdot Y_j - O_x)^2\} \quad \dots\dots\dots (32)$$

を用いて、残差 ΔX_{in} の重み付け2乗和を算出する。これにより、重み W_{in} の大きな検出値 $X_{in'}$ は、偏微分によるパラメータ S_x , R_x , O_x の決定に際しても大きな「重み」を持つこととなる。パラメータ S_x , R_x , O_x は、この新たな値をもとに、(29)～(31)式から求め

*より大きく反映され、検出誤差の大きなマークの(及び波長での)検出位置(検出誤差)はあまり影響を及ぼさなくなるため、従来の重み付けを行なわない方法により得られた配列座標系に比べより高精度なものとなる。

【0118】上記重み W_{jn} (j番めのマークの波長 λ_n での位置検出結果 $X_{in'}$ に対する重み)としては、例えば

【数16】

$$\dots\dots\dots (24)$$

※10※【数17】

★X方向計測用の格子マークMG_jの設計位置(X_j , Y_j)、及びそのX方向の検出位置を $X_{in'}$ との間に、

【数18】

☆G_kの設計位置を(X_k , Y_k)、そのY方向の検出位置を $Y_{kn'}$ として、これらの間の関係、

【数19】

◆考えても結果的な差異はない。

【0120】以前(前層)の露光工程でのパターンニング(露光転写)は、回路パターンもマークも、もちろん設計値通りに行なわれている。しかし、露光後の熱プロセス等により、ウエハに伸縮などが発生したり、前述したグローバルアライメントの精度等に起因してこれらの線型誤差が生じるわけである。

【0121】残差 ΔX_{in} の2乗和とは、

【数20】

* S_y , R_y , O_y も求めることができる。

【0122】従来のEGAではこれらのパラメータの決定に際し、各マークの検出誤差を考慮するようなことはなかったが、本実施例においては前述のマークの段差相当量 δ_{jn} により決まる重み W_{in} により、各マークの検出誤差を考慮(重み付け)して各パラメータの決定を行なう。具体的には(28)式の代わりに、

【数22】

るが、その方法は従来のEGAと同様である。

【0123】また、上記(29)～(31)式は、以下の行列式、

【0124】

【数23】

(15)

特開平9-246175

29

30

$$\begin{bmatrix} \Sigma W_{jn} \cdot X_j & \Sigma W_{jn} \cdot X_j \cdot Y_j & \Sigma W_{jn} \cdot X_j^2 \\ \Sigma W_{jn} \cdot X_j \cdot Y_j & \Sigma W_{jn} \cdot Y_j^2 & \Sigma W_{jn} \cdot Y_j \\ \Sigma W_{jn} \cdot X_j & \Sigma W_{jn} \cdot Y_j & \Sigma W_{jn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} S_x \\ R_x \\ O_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Sigma W_{jn} \cdot X_j \cdot X_{jn} \\ \Sigma W_{jn} \cdot Y_j \cdot X_{jn} \\ \Sigma W_{jn} \cdot X_j \end{bmatrix}$$

..... (34)

【0125】と等価であるので、上記の行列式(34)を解くことにより、パラメータ S_x , R_x , O_x が求まることも従来のEGAと同様である。もちろん、行列式の中に重み W_{jn} が含まれる点は従来のEGAとは異なる。 *

$$\Sigma \Delta Y_{kn}^2 = \Sigma \{ W_{kn} \cdot (X_{kn} - R_y \cdot X_k + S_y \cdot Y_k + O_y)^2 \} \text{ (35)}$$

をそれぞれ偏微分することにより決定する。

【0127】以上により、パラメータ S_x , S_y , R_x , R_y , O_x , O_y が決定され、これらのパラメータによって、ウエハW上の各露光ショットの配列が決定される。即ち、各※

$$X_e' = S_x \cdot X_e + R_x \cdot Y_e + O_x$$

$$Y_e' = R_y \cdot X_e + S_y \cdot Y_e + O_y$$

として算出される(検出される)。

【0128】次に、本実施例の露光装置200による重ね合わせ露光時の処理の流れについて、簡単に説明する。

【0129】前提として、ウエハW上には、前層露光時に所定のショット領域(微細パターン領域)及び各ショット領域に付随するX方向位置計測用の格子マーク及びY方向位置計測用の格子マークが既に形成され、現像等の処理の後、ウエハステージWST上にウエハが搭載され、前述したグローバルアライメントは完了しているものとする。

【0130】① まず、最初に、前述したベースライン計測を行なう。ここで、ベースライン量とは、レチクルRの中心C_{Cr}のウエハ側への投影点(ほぼ光軸AX上に一致している)と、図1に示される位置検出機構系110の検出中心点R_{F4}のウエハ側への投影点との間のX、Y方向の位置関係にほかならない。その位置関係は、基準マーク板FPの対応したマークFGと、検出中心点R_{F4}の投影点との位置ずれ量を位置検出装置100で検出するとともに、その時のウエハステージWSTの座標位置をレーザ干渉計17によって検出することで求めることができる。

【0131】② 次に、ウエハW上の複数のショット領域の中の特定の箇所、例えば8〜15箇所のショット領域にそれぞれ付設された格子マークから成るX方向、Y方向それぞれの位置検出用のアライメントマークの位置及び段差相当量をX、Y方向位置検出用の位置検出装置100をそれぞれ用いて、前述した如く、各波長毎に求める。

【0132】③ 次に、位置検出装置100の位置検出回路120では、これらの検出位置のデータ、検出段

* 【0126】同様に、Y側のパラメータ S_y , R_y , O_y についても上記と同様に重み付けした2乗和【数24】

* ショット領域の設計位置が(X_e , Y_e)であるとするとき、(26)式、(27)式に従って、各ショット領域の実際の位置(X_e' , Y_e')が、

【数25】

..... (36)

..... (37)

20 差相当量、マークの設計値のデータ、ショット配列の設計値のデータ等から前述した重み付けEGA処理を行なって、ウエハ上の全てのショット領域の配列座標系を求め、メモリに格納して置く。

【0133】④ そして、実際の露光の際には、ステップ・アンド・リピート方式でステッピングと露光を繰り返す。このステッピングの際に、主制御装置106により、メモリに格納されたショット配列座標系に従って、レーザ干渉計17の出力をモニタしつつ駆動系16を介してウエハステージWSTの2次元移動が行なわれ、ウエハW上のショット領域が順次投影光学系PLのイメージフィールド内に位置決めされる。

【0134】この場合、演算された配列座標系に従って、ウエハステージWSTの2次元移動を行なうだけで、各ショットがレチクルRとアライメントされる。そして、各位置決め位置で不図示の露光光源からの露光光によりレチクルRが照明されると、レチクルの回路パターンが各ショット領域に重ね合わせ露光される。

【0135】これまでの説明から明かなように、本実施例では、位相差検出回路SAによって段差検出手段が構成され、位相差検出回路SAと検出位置補正回路CAによって位置検出手段が構成され、重み付けEGA回路WEGAによって演算手段が構成されている。

【0136】以上説明したように、本実施例によると、EGAによるショット配列の算出に際し、各アライメントマーク(格子マーク)の位置検出の誤差の程度を、各マークの段差相当量に基づいて推定し、この誤差の程度に応じて重み付けをして最小2乗法を用いた統計的処理によりショット配列の座標系を算出している。この算出された配列座標系に従ってウエハステージWSTの2次元移動が行なわれることにより、結果的に、従来に比べ

(17)

特開平9-246175

31

て高精度な重ね合わせが可能となる。

【0137】また、本実施例によると、複数波長のそれぞれについて格子マークの位置検出、段差相当量の検出を行なっているため、それぞれの波長での位置検出結果及び段差検出結果を用いて、上記重み付けE G Aの処理が行なわれ、この際に重み付けは、各格子マークに対する各波長の優劣（段差対波長の関係）に対しても行なわれ、より一層高精度な重ね合わせが可能となる。

【0138】しかしながら、本発明が必ずしも上記実施例のような多波長レーザ光源を使用する場合に限定されることはなく、単一波長の光源を使用しても良い。単一の波長による検出結果を使用する場合、重み付けは各格子マークの検出結果のものに対して、すなわちウエハ面内での各格子マークの段差量の加工精度バラツキや、レジストの塗布ムラに対して行なわれることになる。

【0139】なお、上記実施例では、複数の波長の光束を交互に格子マークに照射して位置検出を行なう場合について例示したが、本発明がこれに限定されるものではなく、例えば、格子マークMGに対し、複数波長の光束を同時に照射し、受光部においてダイクロイックミラーを用いて第1、第2の合成光束を波長毎に分離し、各波長毎に別々に設けたディテクタによりそれぞれ受光するようにしてもよい。このようにした場合には、受光光学系や信号処理系が多少複雑になるものの、各波長についての検出を同時に行なえるため、計測時間が短くて済むというメリットがある。

【0140】また、上記実施例では、段差検出において、 ϕN と $\phi 0$ の大きさの比の算出は、光量信号 $I A_n$ 、 $I B_n$ のコントラストから算出するものとしたが、本発明がこれに限定されるものではなく、例えば、N次回折光と0次回折光の光量比自体を測定し、その平方根を用いてもよい。

【0141】N次回折光と0次回折光の光量比の検出方法としては、例えば、図2中の光束選択部材6の近傍に、送光ビーム±L Fの少なくともどちらか一方を遮光可能なシャッタを設け、上述の位置検出の終了後、または開始前に、このシャッタにより±L Fのどちらか一方を遮光し、このときにディテクタ15a、15bより得られる光量信号IA、IBの各強度比を求めればよい。このときには、格子マークMGに入射するビームは、各波長につき一本であるから、それぞれの光量信号IA、IBには、ビートはなく、DC信号となっている。そして、前記シャッタにより例えば送光ビーム-L Fを遮光した場合、ディテクタ15aには、送光ビーム+L Fの格子マークMGによる0次回折光のみが入射し、光量信号IAは各波長での0次回折光の光量を示し、ディテクタ15bには、送光ビーム+L Fの格子マークMGによる1次回折光のみが入射し、光量信号IBは各波長でのN次回折光の光量を示すことになる。

【0142】なお、このようにどちらか一方の送光ビー

32

ムを遮光すると、位置検出、段差量検出はともに不可能となる。また、一般にシャッタの開閉には、かなりの時間を要するので、各レーザ光源LS1、LS2の各点灯中にシャッタを開閉するのではなく、シャッタを開きレーザ光源LS1、LS2を交互に点灯し、光量信号IA、IBをそれぞれ受光した後、シャッタを閉じてレーザを再び交互点灯し各波長毎の0次回折光とN次回折光の光量を計測すると良い。

【0143】このように、0次回折光とN次回折光の光量を直接計測する方式では、(17)式の符号の決定に関する不確定さが残る前述のコントラストからの算出法に比べ、 ϕN と $\phi 0$ の大きさの比をより正確に測定することができる。

【0144】なお、上記実施例では、説明を簡略化するために、周波数シフターとして回転ラジアル格子板R R Gを用いる場合を例示したが、本発明がこれに限定されるものではなく、周波数シフターとして2つの音響光学変調器(AOM)を用いたり、中心波長 $\lambda 1$ で発振する第1のゼーマンレーザ光源と中心波長 $\lambda 2$ で発振する第2のゼーマンレーザ光源とを光源として用いてもよい。また、各種ダイクロイックミラーはプリズム等の分散素子に置き換えてもよい。

【0145】また、上記実施例では、2つの波長の検出光を用いる場合を例示したが、2波長に限らず任意の複数波長の検出光を用いてもよい。

【0146】なお、上記実施例では、位置検出用入射ビーム±L Fのそれぞれで周波数を異ならせるヘテロダイン方式を採用した場合、換言すれば、格子マークと干渉縞とを周期方向に相対走査する相対走査手段を、波長の異なる複数組の干渉縞の可干渉な光ビームの対うちの、第1の光ビームの周波数と第2の光ビームの周波数とを僅かに異ならせ、これにより形成される干渉縞を格子マーク上で周期方向に等速度で移動させる手段（回転ラジアル格子板）により構成した場合を例示したが、本発明がこれに限定されるものではない。例えば、入射ビーム±L Fの周波数を等しくし（ホモダイン方式）、代わりに位置検出時にウエハステージW S Tを検出方向に走査させる方式を採用し、このウエハステージW S Tにより格子マークと干渉縞とを周期方向に相対走査する相対走査手段を構成しても良い。この場合にも、各信号はウエハステージW S Tの走査スピードに比例した等しいビート周波数を持つ正弦波となり、上記と同様の検出が行なえる。かかるホモダイン方式では、周波数シフター（回転ラジアル格子板R R G等）が不要で、送光光学系が簡素化されるというメリットがある。

【0147】一方、ヘテロダイン方式では、検出中はウエハステージW S Tを停止させて置けばよく、ヘテロダインによる高S/N化の他にも、ウエハステージW S Tを等速で走査させるための制御機構が不要であること、また、検出中に、ウエハステージW S T位置をモニタす

(18)

特開平9-246175

33

34

るレーザ干渉系22の出力(LFG, LMG)の揺らぎ(主に空気揺らぎ)を平均化できるというメリットもある。

【0148】なお、上記実施例中で説明した位置検出回路120及び主制御装置106の機能は、実際には、ソフトウェアにより実現可能であり、従って、単一のコンピュータによってこれらを構成することも勿論可能である。

【0149】また、上記実施例では、オフアクシスアライメント検出系に本発明に係る位置検出装置が適用される場合について説明したが、その他のスルーザレンズ(TTL)アライメント検出系やスルーザレチクル(TR)アライメント検出系にも本発明の位置検出方法及びその装置は、同様に適用できるものである。

【0150】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、「干渉式アライメント」において、格子マークの位置のみならず、その段差相当量をも検出することが可能となり、この格子マークの段差相当量に基づいて、その格子マークの検出位置に伴う検出誤差を推定することができる。そして、格子マークを複数個検出し、それぞれの検出位置にそれぞれの検出誤差に逆比例するような重みをつけて、マーク検出位置とマーク及び微細パターンの配列座標の設計データを用いた統計処理(重み付けEGA)をすることから、基板上の全ての微細パターンの位置(配列座標系)を従来に比べてより高精度に検出することができるという効果がある。

【0151】特に、請求項3、請求項10に記載の発明では、上記の微細パターンの配列座標系の検出結果(算出結果)に基づいて重ね合わせ露光するため、従来に比べより高精度な重ね合わせ(アライメント)が可能となる。

【0152】さらに、請求項2、請求項8、9に記載の発明のように、干渉式アライメントの検出光路を複数波長化することで、さらに高精度な微細パターンの位置検出が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】一実施例に係る露光装置の構成を示す図である。

【図2】図1の位置検出装置を構成する位置検出機構系の概略構成を示す図である。

*【図3】回転ラジアル格子板による回折ビームの発生の様子を示す斜視図である。

【図4】図1の位置検出装置を構成する位置検出回路の一例を示すブロック図である。

【図5】(1)は図1のディテクタ15aの出力である光束Aの光量信号1Aを示す線図、(2)はディテクタ15bの出力である光量信号1Bを示す線図、(3)はディテクタ14の出力である基準信号1msを示す線図である。

【図6】格子マークMGの一例を拡大して示す図である。

【図7】回折光振幅 ϕ_0 、 ϕ_N が振幅反射率 ϕ_a 、 ϕ_b から導出される過程を、複素数の極座標で表示する図であって、(1)は振幅反射率 ϕ_a 、 ϕ_b より、0次回折光振幅 ϕ_0 が決定されることを表す図、(2)は振幅反射率 ϕ_a 、 ϕ_b より、1次回折光振幅 ϕ_1 が決定されることを表す図、(3)は同図(1)、(2)より得られた ϕ_0 、 ϕ_1 を同一の極座標上に書き表した図である。

【図8】本発明着想の起因となったシミュレーションの結果の一例を示す図であって、(1)はマーク段差hが、50、100、150、200nmの場合の結果を縦軸レジスト厚d[μm]、縦軸位置検出誤差[μm]として示す図、(2)はマーク段差hが、250、300、350、400nmの場合の結果を(1)と同様に示す図である。

【図9】(1)は図8のシミュレーション結果の前提となる格子マークの断面を示す図、(2)はその1周期分の拡大図である。

【符号の説明】

15a、15b ディテクタ(受光手段)

100 位置検出装置

102 送光光学系

200 露光装置

W ウエハ(基板)

MG 格子マーク

RRG 回転ラジアル格子板(相対走査手段)

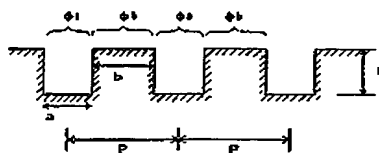
SA_n 位相差検出回路(段差検出手段、位置検出手段の一部)

CA_n 検出位置補正回路(位置検出手段の一部)

WE GA 重み付けEGA回路(演算手段)

*40

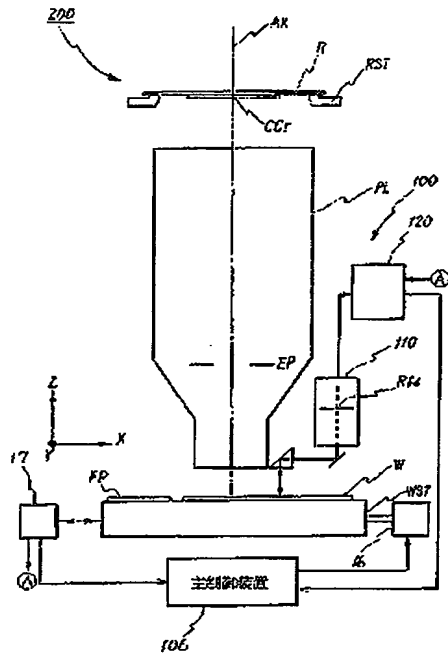
【図6】



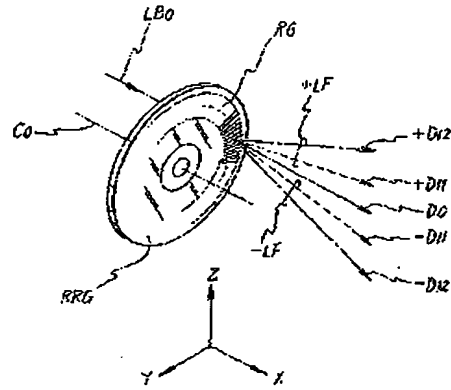
(19)

特開平9-246175

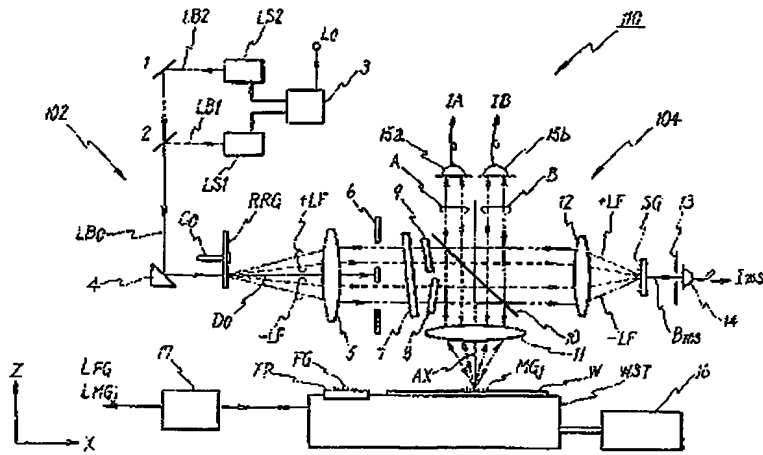
【図1】



【図3】



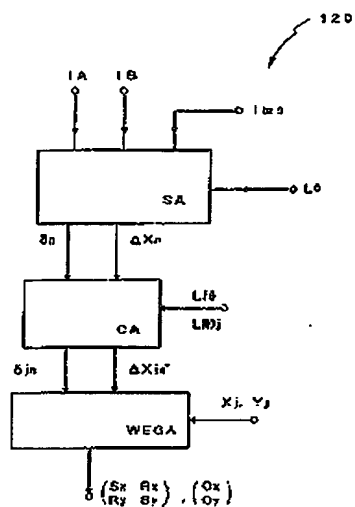
【図2】



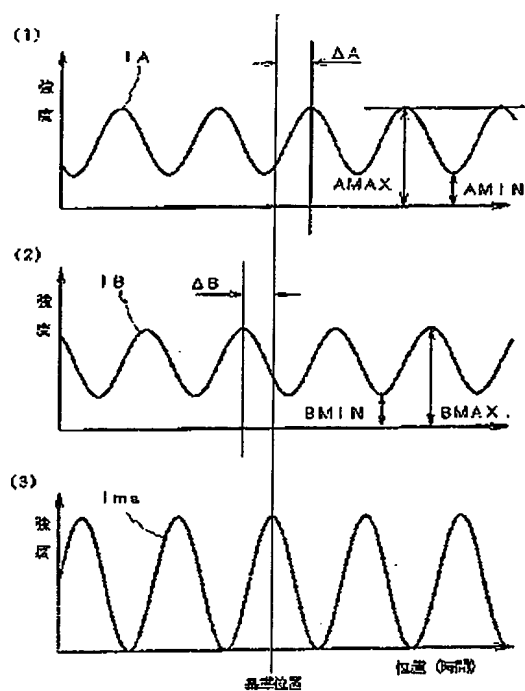
(20)

特開平9-246175

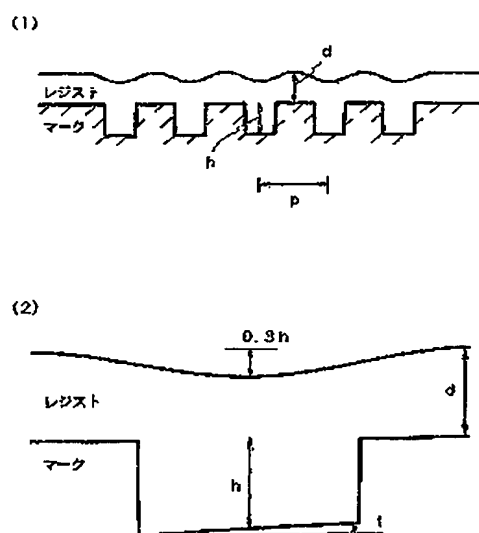
【図4】



【図5】



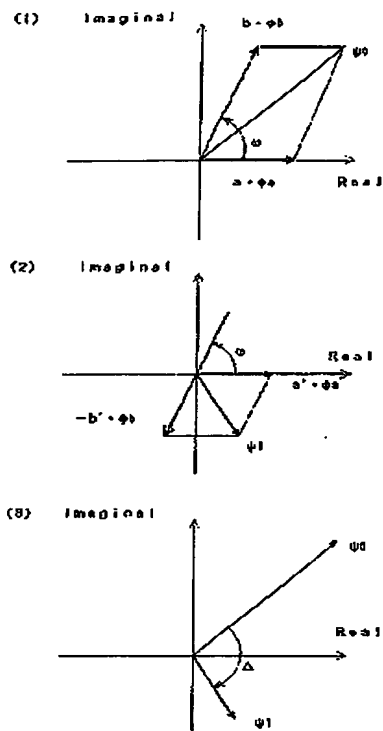
【図9】



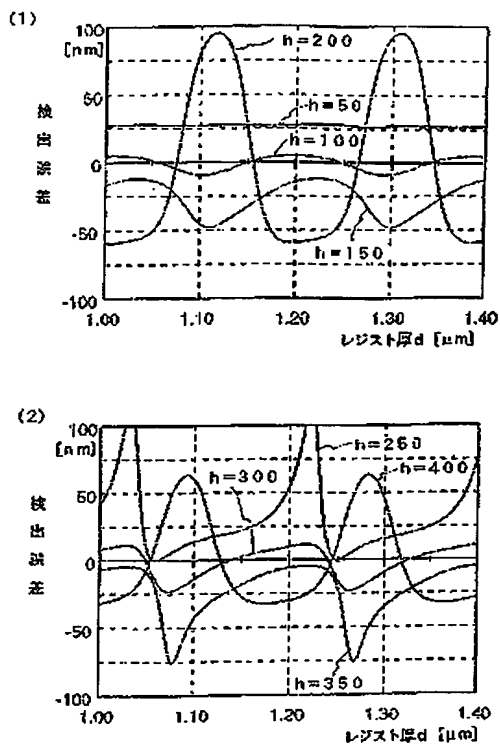
(21)

特開平9-246175

【図7】



【図8】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.[°]

識別記号 片内整理番号

F I
H 0 1 L 21/30

技術表示箇所

5 2 5 W
5 2 5 X
5 2 5 N